

function with M. André, devoted much time and labour during the last few years. M. Angot was sent as companion to M. André, in the French Government Expedition to Noumea, New Caledonia, to observe the late Transit of *Venus*, and he has since been engaged in measuring the French daguerreotypes and photographs taken on December 8, 1874. I cannot do better than let him communicate his results in his own words.

Etude sur les Images Photographiques obtenues au foyer des Lunettes Astronomiques. Par M. Alfred Angot.

On sait depuis longtemps que l'image photographique d'un objet lumineux est dilatée aux dépens des parties obscures ou du champ lui-même, et cela d'autant plus que l'objet est plus vivement éclairé. Pendant longtemps, on s'est borné à attribuer cet effet à un *cheminement* de proche en proche de l'action chimique, sans plus l'étudier. Les applications que l'on tente actuellement de faire de la photographie aux mesures de précision, notamment à celles que demande l'astronomie, rendaient nécessaire l'étude approfondie de ce phénomène.

Le travail qui suit a été effectué dans les caves de l'Ecole Normale Supérieure. Grâce à la bienveillance de M. H. Sainte-Claire Deville, j'ai pu mettre à profit toutes les ressources de son laboratoire, et m'installer dans une cave de 90 mètres de longueur en ligne droite, à côté des appareils qui servaient à la même époque à M. André pour son étude de la diffraction dans les instruments d'optique.

I. Marche des Expériences.

Les images photographiques ont été obtenues sans grossissement au foyer d'une lunette que la Commission du Passage de Vénus a bien voulu mettre à ma disposition, et qui m'avait servi à l'observation même du passage à Nouméa (Nouvelle-Calédonie). L'objectif, de 0^m.13 d'ouverture, achromatisé par l'écartement des deux lentilles qui le composent, a 3^m.80 de distance focale. Une longueur de 1/500^e de millimètre, mesurée sur les épreuves photographiques, correspond ainsi à un angle de 0''^{.109}.

Les épreuves ont été mesurées avec une des machines construites par MM. Brünnner pour la Commission du Passage de Vénus, et qui permettent d'évaluer rapidement et avec certitude le 1/500^e de millimètre—quantité bien suffisante pour mes recherches.

L'objet photographié, disposé à environ 87 mètres de l'objectif, est une source lumineuse formée de deux rectangles égaux séparés par un intervalle obscur. Ces rectangles sont découpés dans une lame métallique que l'on applique sur une plaque de verre

dépoli, éclairée par derrière avec une lampe Drummond ou la lumière électrique. On réalise ainsi un éclairage uniforme de l'objet photographié—condition absolument indispensable.

Avec cette disposition on peut obtenir facilement, non-seulement le fait de l'augmentation des images, mais la mesure de cette augmentation en valeur absolue. L'augmentation de dimensions de chaque rectangle lumineux est en effet forcément égale à la diminution de l'intervalle obscur compris entre eux : la somme de ces deux quantités est donc constante et égale à ce qu'elle serait si l'image se formait seulement d'après les lois de l'optique géométrique. On connaît de plus, par la mesure directe de l'objet photographié, le rapport des intervalles obscur et lumineux. Possédant leur somme et leur rapport, on calcule facilement leur valeur pour l'image géométrique ; la comparaison avec celles que donne la mesure directe des épreuves donne dans chaque cas, et en valeur absolue, l'augmentation des dimensions de l'image. En outre, la constance de la somme des intervalles obscur et lumineux donne un excellent moyen d'apprécier le degré de précision des expériences.

Pour permettre de juger cette précision, je citerai seulement ici les résultats suivants des mesures de sept images obtenues successivement sur une même plaque daguerrienne, et pour lesquelles on n'a fait varier que la durée d'exposition à la lumière :

Durée de pose	Largeur (en 1/500 ^{es} de millimètre)		Somme $l+o$
	du rectangle lumineux l	de l'intervalle obscur o	
10 secondes	593·5	192·6	786·1
30 „	618·5	168·6	787·1
40 „	624·0	163·6	787·6
1 minute	632·6	155·2	787·8
2 minutes	645·7	141·4	787·1
4 „	656·4	130·0	786·4
7 „	673·8	113·4	787·2

On voit que l'erreur moyenne sur la somme, qui devrait être constante, ne dépasse pas 0^{mm}.001 (0^{''}.05). Dans ce qui suit, nous nous bornerons à indiquer l'excès de l'image sur l'image géométrique calculée, comme nous l'avons indiqué plus haut, au moyen de la somme $l+o$, et du rapport $\frac{l}{o}$ mesuré directement sur l'objet photographié.

II. Résultats.

Les expériences ont montré que la dimension des images varie, 1° avec l'intensité de la lumière ; 2° avec la durée de pose ; 3° avec la sensibilité de la plaque ; 4° avec le diamètre de l'objectif ;

5° avec l'état chimique de la plaque; les phénomènes, étant différents si la plaque a vu ou non le jour avant de recevoir l'impression photographique.

1°. *Influence de l'intensité.*—Toutes choses restant égales, l'image augmente à mesure que l'on fait croître l'intensité de la lumière; l'image obtenue est généralement plus grande que l'image géométrique [en supposant un objet lumineux sur fond obscur]. Mais, pour une intensité assez faible, on peut obtenir une image *plus petite* que l'image géométrique. Le phénomène change de sens si l'on considère l'image d'un objet obscur sur champ lumineux.

Je citerai seulement comme exemple l'expérience suivante, qui donne l'excès de l'image obtenue sur l'image géométrique calculée pour des intensités variant de 1 à 38 :

Plaque daguerrienne (durée de pose, 1 minute).

Intensité de la source lumineux	Excès de l'image sur l'image géométrique	
	en 1/500 ^{es} de millimètre	en secondes d'arc
1	116.1	12.66
1/4	81.0	8.84
1/9	41.5	4.52
1/9.5	39.2	4.27
1/38	-22.4	-2.44

Le signe — devant le dernier nombre indique que l'image obtenue est plus petite que l'image géométrique.

2°. *Influence de la durée de pose.*—La durée de pose a une influence de même ordre que l'intensité; l'image obtenue croît avec elle. J'ai cité plus haut un exemple de cette influence. Le résultat général est qu'il n'y a pas proportionnalité entre la durée de pose et l'intensité, les effets de la durée de pose étant beaucoup moins grands que ceux de cette dernière. Un temps de pose 1 avec une intensité 2 produisent, par exemple, un effet plus grand qu'un temps de pose 2 avec une intensité 1.

3°. *Influence de la sensibilité de la plaque.*—Pour une même durée de pose et une même intensité lumineux les phénomènes s'accroissent avec la sensibilité de la plaque sans qu'il soit cependant possible de donner une loi numérique, la sensibilité n'étant pas définie rigoureusement. Mes expériences permettent, au contraire, de déterminer la sensibilité en la mesurant, par exemple, par l'inverse de l'intensité lumineuse, qui donnera, avec une durée de pose de 1 seconde, une image égale à l'image géométrique.

4°. *Influence du diamètre de l'objectif.*—Pour vérifier la loi de l'ouverture de l'objectif, j'ai réduit celui-ci à moitié, mais en quadruplant alors l'intensité de la lumière, de façon que l'éclat de l'image fût constant, la durée de pose étant alors la même dans les deux cas.

Je citerai seulement les nombres suivants :

		Excès de l'image obtenue sur l'image géométrique en 1/500 ^{es} de millimètre
Première expérience	ouverture I	27°0
	„ I/2	43°0
Deuxième expérience	ouverture I	50°2
	„ I/2	72°0

L'image augmente donc quand l'ouverture de l'objectif diminue.

5°. *Influence de l'exposition antérieure à la lumière.*—J'ai exposé à la lumière diffuse une moitié de chaque plaque, et j'ai fait ensuite sur les deux moitiés une série d'épreuves avec la même durée de pose et la même intensité, de façon que toutes les conditions fussent identiques de part et d'autre, sauf l'exposition antérieure à la lumière. L'expérience a montré constamment que l'image obtenue sur la moitié intacte était plus grande que sur celle qui avait préalablement été impressionnée par la lumière diffuse. Je citerai seulement les nombres suivants :

		Largeur de l'image	
		dans la partie exposée antérieurement à la lumière	dans la partie non exposée
1 ^o plaque daguerrienne	Durée de pose		
	30 secondes	514.9	535.6
	1 minute	537.3	560.4
2 ^o plaque, sur collodion sec	4 minutes	563.0	581.5
	intensité I	1 minute	584.5
		2 minutes	622.7
	intensité environ 1/4	1 minute	641.0
		2 minutes	620.5
		1 minute	558.0
		2 minutes	558.5
			579.0

III. Théorie.

La première hypothèse que l'on ait invoquée pour expliquer ces faits était d'admettre un *cheminement* de proche en proche de l'action chimique. Mais il est facile de voir que telle ne saurait être la cause de l'agrandissement observé généralement. Tout d'abord, cette hypothèse ne saurait rendre compte de ce fait, qu'avec une faible intensité ou une courte durée de pose on obtient des images plus petites que l'image géométrique. De plus, s'il y avait un cheminement, il devrait être plus grand sur une plaque ayant déjà subi l'action de la lumière diffuse que sur une autre non altérée, et nous avons vu que l'expérience donnait un résultat précisément contraire. Enfin, en augmentant la durée de pose on devrait accroître le cheminement, en lui donnant plus de temps pour se produire, et une durée de pose 2 avec une intensité 1 donnerait une image plus grande qu'une durée de pose 1 avec

une intensité 2—fait contredit par l'expérience. Il faut donc abandonner cette hypothèse.

La théorie des phénomènes lumineux donne, au contraire, une explication fort simple de tous les phénomènes observés, en admettant seulement, ce qui semble du reste évident, qu'une plaque de sensibilité donnée ne peut être impressionnée pendant le même temps que par des lumières possédant une intensité supérieure à une intensité donnée : cette intensité qui définira justement la sensibilité de la plaque, si l'on peut mesurer en valeur absolue l'intensité limite qui donne une impression pendant l'unité de temps. L'étude de la diffraction au foyer des lentilles faite par Schwerd (*Beugungserscheinungen*), simplifiée et étendue par M. André ('Etude de la Diffraction dans les Instruments d'Optique'—*Annales de l'Ecole Normale Supérieure*, 1876, tome v. page 275), conduit aux résultats suivants. L'intensité lumineuse n'est pas constante en dedans même de l'image géométrique : elle décroît près des bords, et, au bord même, elle n'est que la moitié de ce qu'elle est au centre. En dehors de l'image géométrique on trouve encore de la lumière dont l'intensité décroît progressivement en tendant vers zéro. Si l'on considère un objectif parfait, rigoureusement aplanétique, la largeur de cette zone de diffraction varie en raison inverse de l'ouverture de l'objectif.

L'aberration produit des phénomènes analogues qui se superposent aux précédents et augmentent considérablement l'étendue de la zone diffractée, sans cependant changer le sens général du phénomène. Quand on réduit l'objectif on a toutefois à tenir compte de deux effets inverses ; celui de la diffraction qui augmente, et celui de l'aberration qui diminue en même temps que décroît l'ouverture de l'objectif.

Ces lois suffisent à expliquer tous les faits observés. Quand on augmente l'intensité de la source, l'intensité croît proportionnellement en chacun des points de la zone diffractée, et la plaque photographique, qui reste sensible pour une intensité absolue déterminée, donne des images de plus en plus grandes. Si, au contraire, l'intensité décroît assez pour que, dans le temps considéré, la plaque ne soit plus sensible à la moitié de l'intensité au centre de la plaque, on aura des images plus petites que l'image géométrique.

Au lieu de faire varier l'intensité, on peut faire intervenir la durée de pose ; on aura alors des effets analogues à ceux que donnait la variation de l'intensité, mais moins rapides. En augmentant l'exposition, on rend en effet la plaque sensible à des lumières de plus en plus faibles ; mais cette sensibilité tend rapidement vers une certaine limite, car l'expérience semble prouver que toute intensité qui tombe au-dessous d'une certaine limite, variable avec la sensibilité de la plaque, ne peut plus produire d'impression même pendant un temps infiniment grand.

L'influence de l'ouverture de l'objectif est également manifeste : la zone diffractée augmente quand l'ouverture de l'objectif diminue, et exactement en raison inverse de celle-ci. L'expérience

a montré cette augmentation, mais un peu moins rapide que ne le veut la théorie ; en effet, en même temps que la diminution de l'ouverture produit une augmentation de la zone diffractée, elle diminue notablement l'effet de l'aberration.

Enfin, quand on soumet à la lumière diffuse la plaque sensible avant d'y imprimer l'image, celle-ci vient se faire sur un champ déjà éclairé, et cet éclaircissement général masque une partie de l'agrandissement diffractionnel.

En résumé, les faits observés sont en parfait accord avec la théorie. La dimension des images photographiques varie avec toutes les conditions de l'expérience ; mais, pour expliquer ces variations, il suffit d'avoir recours aux théories ordinaires de l'optique, et non à l'hypothèse d'un cheminement mystérieux des actions chimiques. Dans une prochaine communication, j'exposerai les applications de ces recherches à l'observation photographique de certains phénomènes astronomiques, notamment à celle du passage de Vénus.

Sur l'Application de la Photographie à l'Observation du Passage de Vénus. Par M. Alfred Angot.

Dans un précédent travail, j'ai étudié les causes diverses qui peuvent modifier la dimension des images photographiques, et montré que tous les faits observés sont d'accord avec la théorie de la diffraction. Je désire exposer aujourd'hui les résultats auxquels conduisent mes expériences pour l'application de la photographie à l'observation du passage de Vénus.

Avec la méthode d'observation photographique, on peut chercher à déterminer par deux procédés différents la parallaxe solaire au moyen du passage de Vénus. 1°. On cherche à mesurer l'effet parallaxique direct, c'est-à-dire la différence des positions apparentes de Vénus vue au même instant de deux stations éloignées. 2°. On détermine seulement par la photographie l'instant des contacts. Ce dernier procédé conduit identiquement aux mêmes calculs que l'observation directe, qu'il ne fait que doubler. Le premier, au contraire, est propre à la photographie, puisque les astronomes n'ont pas encore imaginé de moyens sûrs de mesurer les distances de Vénus et du Soleil à un instant quelconque.

I. Mesure directe de l'Effet Parallaxique.

La position de Vénus sur le Soleil est définie par deux éléments : la distance des centres et l'angle que fait la ligne des centres avec une direction fixe, celle de l'équateur, par exemple, angle que l'on désigne communément sous le nom d'*angle de*